

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“EFICIENCIA DE LA ZEOLITA EN LA REMOCIÓN DE  
METALES PESADOS EN EL RIO CONDEBAMBA EN RELACIÓN A  
LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AGUA-CATEGORÍA 3,  
CAJAMARCA 2022”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniera Ambiental**

**Autoras:**

Lidia Gabriela De La Puente Catalan  
Kelly Erlita Tello Vasquez

**Asesora:**

M.Sc Gladys Sandi Licapa Redolfo  
<https://orcid.org/0000-0002-9077-5218>  
Cajamarca - Perú

## JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	<b>JULIAN RICARDO DIAZ RUIZ</b>	<b>09294063</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	<b>MARIETA ELIANA CERVANTES PERALTA</b>	<b>29425048</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	<b>JUAN CARLOS FLORES CERNA</b>	<b>18898536</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI


## INFORME DE SIMILITUD



### Document Information

Analyzed document	TESIS FINAL_LIDIA DE LA PUENTE_6_KELLY_TELLO.docx (D155092581)
Submitted	1/7/2023 4:58:00 PM
Submitted by	Gladys Sandi Licapa Redolfo
Submitter email	gladys.licapa@upn.pe
Similarity	11%
Analysis address	gladys.licapa.delnor@analysis.arkund.com

### Sources included in the report

<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/4283/Tesis%20Jhener%20Jhoner%20Qu...">https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/4283/Tesis%20Jhener%20Jhoner%20Qu...</a> Fetched: 1/7/2023 4:57:53 PM		3
<b>W</b>	URL: <a href="https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/2459/1/Jes%C3%BAs%20Daniel%20Lo...">https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/2459/1/Jes%C3%BAs%20Daniel%20Lo...</a> Fetched: 10/26/2022 4:16:16 PM		1
<b>SA</b>	<b>1A_GÓMEZ_MANDUJANO_ADRIÁN_VALENTÍN_DOCTORADO_2021.docx</b> Document 1A_GÓMEZ_MANDUJANO_ADRIÁN_VALENTÍN_DOCTORADO_2021.docx (D109917229)		8
<b>W</b>	URL: <a href="http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S0718-07642006000600017">http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S0718-07642006000600017</a> Fetched: 11/8/2021 12:53:19 AM		4
<b>SA</b>	<b>tfg_GIPECI01_ZeolitasEstructurayAplicaciones_Angela_Conlledo_2020_02.pdf</b> Document tfg_GIPECI01_ZeolitasEstructurayAplicaciones_Angela_Conlledo_2020_02.pdf (D63856843)		1
<b>SA</b>	<b>TESIS FINAL SALAZAR LEIVA VÍCTOR EDUARDO.pdf</b> Document TESIS FINAL SALAZAR LEIVA VÍCTOR EDUARDO.pdf (D154594742)		1
<b>W</b>	URL: <a href="https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/download/1300/1357/">https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/download/1300/1357/</a> Fetched: 7/24/2020 11:28:58 AM		1
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.ejattlas.org/print/shahuindo-project-in-cajabamba-cajamarca-peru">https://www.ejattlas.org/print/shahuindo-project-in-cajabamba-cajamarca-peru</a> Fetched: 1/7/2023 4:57:49 PM		1

### Entire Document

FACULTAD DE INGENIERÍA Carrera de Ingeniería Ambiental  
 “EFICIENCIA DE LA ZEOLITA EN LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN EL RIO CONDEBAMBA EN RELACIÓN A LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AGUA-CATEGORÍA 3, CAJAMARCA 2022” Tesis para optar al título profesional de:  
 Ingeniero Ambiental  
 Autoras:  
 Lidia Gabriela de la Puente Catalán Kelly Erlita Tello Vásquez  
 Asesora:  
 M.Sc Gladys Sandi Licapa Redolfo Código ORCID: 0000-0002-9077-5218 Cajamarca - Perú 2022  
 DEDICATORIA

## DEDICATORIA

Este presente trabajo de investigación va dedicado primero a Dios por permitirnos llegar a realizar esta investigación y porque ha estado con nosotras en cada paso que damos, dándonos fortaleza para continuar.

A nuestros padres por estar en esta etapa quien a lo largo han velado por el bienestar y educación, siendo nuestro pilar en todo momento y motivación puesto que, ellos fueron los que nos ayudaron a superar los obstáculos que se nos presentaron en nuestra vida.

Y por último a nuestra asesora por su acompañamiento y su guía en todo este proceso del desarrollo de nuestra tesis, demostrándonos su responsabilidad y consideración con nosotras.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos ante todo a Dios, por darnos fortaleza para poder superar los obstáculos que se mostraron en este largo camino.

A nuestros padres por siempre estar apoyándonos incondicionalmente e incentivándonos siempre a nuestro éxito personal y profesional.

Agradecemos a la Universidad Privada del Norte por su apoyo para la culminación de esta face de nuestra vida.

A nuestros docentes por brindarnos sus conocimientos y guía en nuestra etapa universitaria.

A nuestra asesora por formar parte del desarrollo de esta investigación.

Y finalmente agradecemos a todas aquellas personas que estuvieron en todo momento y que siempre nos brindaron su apoyo incondicional y así poder cumplir con nuestros objetivos.

## TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	11
<b>1.1. Realidad problemática</b>	<b>11</b>
<b>1.2. Formulación del problema</b>	<b>36</b>
<b>1.3. Objetivos</b>	<b>36</b>
<b>1.4. Hipótesis</b>	<b>37</b>
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	38
<b>2.1. Tipo de investigación</b>	<b>38</b>
<b>2.2. Población y muestra</b>	<b>38</b>
<b>2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos</b>	<b>39</b>
<b>2.4. Materiales experimentales:</b>	<b>40</b>
<b>2.5. Técnicas e instrumentos de análisis de datos:</b>	<b>41</b>
<b>2.6. Proceso de toma de muestra</b>	<b>42</b>

<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS</b>	<b>45</b>
<b>3.1 Análisis del agua del Río Condebamba</b>	<b>45</b>
<b>3.2 Eficiencia de la remoción utilizando zeolita</b>	<b>47</b>
<b>3.3 Comparación de resultados con el Estándar de Calidad ambiental tipo3</b>	<b>51</b>
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b>	<b>52</b>
<b>4.1 DISCUSIONES</b>	<b>52</b>
<b>4.2 CONCLUSIONES</b>	<b>54</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>56</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>58</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales .....	26
<b>Tabla 2</b> Tipos de zeolitas naturales .....	32
<b>Tabla 3</b> Dosificación para el tratamiento .....	43
<b>Tabla 4</b> Resultados de la muestra del Río Condebamba antes del tratamiento.....	45
<b>Tabla 5</b> Comparación de resultados de muestra del Río Condebamba vs Estándar de calidad ambiental tipo 3(ECA 3) .....	46
<b>Tabla 6</b> Resultados después del tratamiento con zeolita.....	48



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Resultados del análisis antes del tratamiento .....	47
<b>Figura 2</b> Prueba metales vs ECA3 .....	49
<b>Figura 3</b> Eficiencia de la zeolita .....	50
<b>Figura 4</b> Resultados del análisis después del tratamiento .....	51

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la zeolita en la remoción de metales pesados en el río Condebamba, que es afectado por los procesos de minería artesanal y la gran minería. Se determinó la concentración de metales en el Río Condebamba, se realizó el muestreo donde se evaluó la calidad actual del agua, la misma que es usada en actividades como la agricultura y ganadería, dichos resultados fueron comparados con el Estándar de calidad ambiental D.S. N°004-2017-MINAM, categoría 3, así mismo se propuso un tratamiento de remoción de metales en las aguas del Río Condebamba utilizando zeolita como captador, para ello se realizó agitación de muestra con 3 proporciones de zeolita: 100mg, 50mg y 25mg, por litro de muestra del Río Condebamba, obteniendo resultados favorables de remoción, tales como, si se utiliza 100 gramos de zeolita para 1 Litro de muestra del Río Condebamba se obtuvo 51,7051% de remoción de Bario, 56,739% de remoción de Boro, 50,247% de remoción de Cobre, 53,56% de remoción de Cromo, 58,90% de remoción de Hierro , 53,68% de remoción de plomo y 49.15% de remoción de Zinc. Los resultados después del tratamiento no cumplieron con el Estándar de calidad ambiental.

**PALABRAS CLAVES:** Zeolita, remoción, metales, estándar de calidad ambiental

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Realidad problemática**

Plan Nacional de Recursos Hídricos del Perú (2021). Aunque el agua superficial disponible en el Perú es relativamente abundante, su calidad es crítica en algunas regiones del país. Este deterioro de la calidad del agua es uno de los problemas más graves que sufre el país, pues constituye un impedimento para lograr un uso eficiente del recurso, lo que compromete el abastecimiento tanto en calidad como en cantidad, la salud de las personas y la del ganado, la producción agrícola y la conservación del medio ambiente, de modo que su corrección es tarea ineludible e inaplazable. El agua es el recurso más importante para todo ser vivo. El Perú es uno de los países más ricos en recursos hídricos, pero la contaminación que se da a este recurso hídrico afecta a la calidad lo que constituye un factor adverso, ya que perjudica tanto la salud de las personas así como las actividades agrícolas.

Las aguas del Río Condebamba, perteneciente a Cajabamba, es usado para actividades agrícolas, pero al ser éste colindante con el proyecto Shahuindo existe una gran preocupación por parte de los pobladores, debido a la actividades de extracción de minerales que se ejercen en la Unidad Minera Shahuindo, por ello se cree que hay probabilidades que exista concentraciones de contaminantes tales como son los metales lo cual generaría un grave problema debido a la toxicidad de éstos. Este trabajo permite saber cuál es la concentración de metales en el Río Condebamba, para así determinar si son o no una fuente de exposición perjudicial para los pobladores, tomando en consideración el estándar de calidad ambiental categoría 3. Según Verástegui P. (2017) en su trabajo de investigación presentó la importancia de utilizar absorbentes de metales en aguas que están expuestas a contaminación por plomo debido a las minerías, obteniendo resultados favorables, además

planteó que se deben realizar más trabajos para contribuir al cuidado de nuestro recurso más importante como es el agua.

De acuerdo a la realidad problemática presentada, como investigadores nos hemos visto en la necesidad, de realizar análisis a las aguas del Río Condebamba y proponer un tratamiento eficaz, para así poder reducir la concentración de metales en aguas y de esta manera los pobladores se sientan seguros de aprovechar ésta agua de tal forma que no afecte ni su salud ni su economía, ya que la actividad económica principal en Cajabamba es netamente la actividad agrícola, es por ello que este estudio contribuye a brindar información de carácter ambiental.

### **1.1.1. Antecedentes**

#### **Internacionales:**

Loya D. (2022) caracterizó la zeolita con el fin de remover arsénico y cadmio de un cuerpo de agua, donde obtuvo resultados favorables como por ejemplo el de remover más del 50% para estos 2 elementos. En el momento que utilizó tratamientos con ácido nítrico demostró mejorías y una mejor remoción de cadmio, pero la capacidad de remoción del arsénico disminuyó. Al tratar con Óxido de magnesio notó que obtuvo resultados similares que al usar el ácido. Otro tratamiento que realizó es utilizando Cloruro férrico, siendo esta, la mejor opción para remover arsénico y cadmio en solución acuosa.

Asimismo Valdez P. (2018), demostró que utilizando la zeolita natural mediante un proceso de adsorción de metales a concentraciones iniciales de 100, 200 y 400 mg/L para el plomo y cobre, se obtiene una remoción del 80% de estos metales, demostrando que la zeolita tiene un buen rendimiento de absorción en la remoción de metales de cobre y plomo, además en su estudio recomendó realizar más estudios para saber la viabilidad económica

para este tipo de procesos, así como también recomendó hacer pruebas a nivel de escala industrial.

Además Buenaño E. (2016), realizó un tratamiento de aguas de mina para reducir las concentraciones de manganeso, cadmio, zinc y cromo en donde obtuvo resultados favorables de remoción del 60%, indica que existe una amplia variedad de zeolita que son utilizadas en diferentes aplicaciones, pero que la heulandita y la clinoptilolita son de interés para tratamientos de drenajes ácidos, además recalca que la caracterización de la zeolita constituye la fase fundamental dentro de cualquier tipo de experimentación.

Del mismo modo Valenzuela J. (2019), realizó un estudio de adsorción utilizando zeolita pretatada con óxido de magnesio, donde obtuvo un 90% de adsorción de arsénico, demostrando que la zeolita otorga resultados favorables en la adsorción. Indica que utilizar óxido de magnesio sobre la zeolita logra obtener mejor resultado de absorción de arsénico. Indica también que el pH de la solución no tiene un efecto negativo en la absorción de arsénico ya que existe un porcentaje de remoción favorable, en este caso el investigador utilizó el modelo Freundlich para sus datos experimentales.

En esa misma línea Alvarado J. (2013), hizo pruebas de adsorción, donde a los 10 días de tratamiento alcanzó una reducción de cromo a 8ppm, es decir se produjo una reducción del 99%, siendo un tratamiento eficaz de reducción de metales. Las pruebas realizadas en columna con erionita, indican que la erionita modificada presenta mayor capacidad de remoción de cromo que la natural. La máxima remoción fue del 15% y se tuvo a los 3 minutos, mientras que en la forma natural sólo removió un 4% en el mismo tiempo, por lo que se requeriría un diseño de tratamiento en serie para remover mayor cantidad de cromo.

### **Nacionales:**

Según Barreto C. (2021), demostró la remoción de plomo realizando un estudio utilizando zeolitas del departamento de, obteniendo una capacidad de absorción de 3,55 mgPb/ gramo de zeolita, donde concluyó que la zeolita es un adsorbente seguro para remover este metal. Además indicó que las zeolitas naturales de la zona Yura-Arequipa son aluminosilicatos de alta porosidad que tiene un proceso de remoción muy rápido y con un potencial de remoción del 98%, a partir de estas características presentadas indica que la zeolita es un adsorbente seguro para remover plomos de aguas contaminadas.

Del mismo modo Rodríguez M. (2016), menciona que realizó pruebas de adsorción sobre un material zeolítico donde obtuvo una capacidad de adsorción favorable del 60% para los metales plomo, zinc, manganeso, cobalto y galio, indicó que la zeolita es un mineral que se caracteriza por su bajo costo y debido a su composición no presenta inconvenientes para eliminar metales en aguas, por lo tanto es recomendable usar la zeolita para obtener buenos niveles de remoción de metales.

## **1.1.2. Base teórica**

### **1.1.2.1. Sistema nacional de gestión ambiental**

Según el MINAM (2016) un Sistema Nacional de Gestión Ambiental es un conjunto de lineamientos, principios, normas, procedimientos, técnicas e instrumentos que organizan las funciones y competencias ambientales de los poderes públicos para posibilitar la implementación de las políticas ambientales nacionales, teniendo en cuenta los procesos involucrados en la gestión de la biodiversidad, el clima cambio y manejo del suelo.

### 1.1.2.2. Recursos hídricos

Según la Ley N° 29338 De Recursos Hídricos (2016), los principios de su sistema son:

- Principio de valoración del agua y de gestión integrada del agua: El agua tiene valor sociocultural, valor económico y valor ecológico, y es necesario gestionarlos y utilizarlos de forma integral y equilibrada. El agua es una parte integral de los ecosistemas y es renovable a través del ciclo del agua.
- Principio de prioridad en el acceso al agua: El acceso al agua para satisfacer las necesidades humanas básicas es una prioridad, incluso en tiempos de escasez de agua, ya que es un derecho fundamental para todos los usos.
- Principio de participación de la población y cultura del agua: Los Estados crean mecanismos para la participación de los usuarios y poblaciones organizadas en las decisiones que afectan el agua relacionadas con la calidad, cantidad, oportunidades u otras características de los recursos. Promociona del fortalecimiento de sistemas y desarrollo tecnológico para grupos de usuarios de agua. Impulsar programas de educación, difusión y concientización sobre la importancia del agua para la humanidad y los ecosistemas a través de las autoridades del sistema educativo y la sociedad civil para crear conciencia y actitudes que promuevan el uso adecuado y la valoración del agua.

- Principio de seguridad jurídica: El estado tiene un sistema de derechos en cuanto al uso del agua. Facilita y asegura el cumplimiento de las condiciones que den seguridad jurídica a la inversión en cuanto a su aprovechamiento, ya sea de participación pública, privada o conjunta.
- Principio de respeto de los usos del agua por las comunidades campesinas y comunidades nativas: El Estado respeta los usos y costumbres de los campesinos y comunidades indígenas y su derecho al uso del agua que fluye en sus tierras, salvo que viole la ley, y promueve los conocimientos y técnicas tradicionales del agua.
- Principio de sostenibilidad: El Estado promueve y gestiona el uso sostenible y la conservación de los recursos hídricos y, como parte del ecosistema en el que se encuentran los recursos hídricos, previene el deterioro de la calidad ambiental de los recursos hídricos y de las condiciones naturales circundantes. El uso y la gestión sostenibles del agua significan la integración equilibrada de las dimensiones socioculturales, ecológicas y económicas en el desarrollo nacional y la satisfacción de las necesidades de las generaciones actuales y futuras.
- Principio de descentralización de la gestión pública del agua y de autoridad única: Para una efectiva gestión pública del agua, la conducción del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos es de responsabilidad de una



autoridad única y desconcentrada. La gestión pública del agua comprende también la de sus bienes asociados, naturales o artificiales.

- Principio precautorio: La ausencia de certeza absoluta sobre el peligro de daño grave o irreversible que amenace las fuentes de agua, no constituye impedimento para adoptar medidas que impidan su degradación o extinción.
- Principio de eficiencia: La gestión integrada de los recursos hídricos se basa en el uso eficiente y la conservación, y promueve el desarrollo de una cultura de uso eficiente entre usuarios y operadores.
- Principio de gestión integrada participativa por cuenca hidrográfica El uso del agua debe ser óptimo y equitativo, basado en sus valores sociales, económicos y ambientales, y su gestión integrada a través de la participación activa de las personas organizadas en toda la cuenca. El agua constituye parte de los ecosistemas y es renovable a través de los procesos del ciclo hidrológico.
- Principio de tutela jurídica: El Estado protege, supervisa y fiscaliza el agua en sus fuentes naturales o artificiales y en el estado en que se encuentre: líquido, sólido o gaseoso, y en cualquier etapa del ciclo hidrológico.

### **1.1.2.3. Calidad ambiental**

Según Russ et al. (2016) la calidad ambiental se define como la descripción de las características ambientales cualitativas y/o cuantitativas generales o específicas del medio ambiente y su relación con su capacidad relativa para satisfacer las necesidades humanas y/o ecológicas.

Del mismo modo Atencio (2018) nos enfatizó sobre medir y evaluar la calidad ambiental que tiene implicaciones importantes para la toma de decisiones en muchas áreas. Piense en la calidad del agua en una playa, la cantidad de partículas suspendidas en el aire o el nivel de ruido en una ciudad en particular. Las decisiones tomadas sobre la base de esta evaluación caso por caso pueden incluir la prohibición de bañarse, la restricción o suspensión de actividades contaminantes del aire (tráfico de pasajeros), o la prohibición de emisiones de ruido durante ciertos momentos del día.

### **1.1.2.4. Agua**

Román A. (2012) definió que el agua está formada por dos elementos: hidrógeno y oxígeno. Cada molécula de agua está compuesta por 2 partes de hidrógeno y 1 parte de oxígeno, por lo que la fórmula es  $H_2O$ . Muchas moléculas están densamente empaquetadas en una gota de agua. Cuando el agua fluye, las moléculas se deslizan entre sí. El agua es el elemento más importante para la vida. Es muy importante no solo para los humanos, sino también para los demás animales y todos los seres vivos que nos acompañan en la tierra. El 70% de la tierra está hecho de agua y el 70% de nuestro cuerpo está hecho de agua. Es increíble que quizás por eso una recomendación de alimentación saludable es consumir alimentos que contengan un 70% de agua.

Asimismo FIGAP (2022) menciona que el agua es un insumo básico en la producción agrícola y juega un papel importante en la seguridad alimentaria. La agricultura de regadío representa el 20% del área cultivada total y el 40% de todos los alimentos producidos en el mundo. La calidad del agua es importante no solo para el ganado, sino también para las plantas y los cultivos. Las infecciones fúngicas persistentes en las plantas a menudo pueden ser el resultado de contaminantes.

#### **1.1.2.4.1 El agua en la ganadería**

FIGAP (2022), señala que los animales necesitan agua para su correcto crecimiento y desarrollo. Básicamente, la calidad de los productos finales como la carne y la leche depende de la calidad. El ganado consume grandes cantidades de agua y está en riesgo constante de ingerir contaminantes. Estos contaminantes incluyen sales minerales, metales pesados, toxinas, bacterias y heces de animales. Los contaminantes en el agua potable de los animales pueden causar infertilidad y baja producción de leche; pueden causar problemas de fertilidad, enfermedades y la muerte.

#### **1.1.2.5. Aguas superficiales:**

La NTP 214.042 (2012), clasifica el agua para ensayos de laboratorio, en ella se encuentra el agua superficial, donde la define como aguas que se encuentran sobre la superficie del suelo. Pueden ser corrientes (que se mueven en una dirección y circulan continuamente) y aguas estancadas (que provienen de precipitaciones, deshielos o nieve que no se infiltra ni regresa a la atmósfera). Las aguas de ríos son las corrientes de agua que fluyen sobre sus cauces. Pueden ser según su estacionalidad: Perennes: con agua durante

todo el año e Intermitentes: Con aguas solo en algunos periodos del año, por lo general en épocas de lluvia.

#### **1.1.2.6. Contaminación de los ríos por actividades mineras**

Se menciona que “la contaminación se refiere a un cambio negativo en la calidad del agua. Esta contaminación es causada por la actividad humana. Uno de ellos es la minería, que es peligrosa y dañina para todos los seres vivos” (Ramírez, A. 2016, p. 15).

Según R.M. N° 525-2005/MINSA (2005) la contaminación es uno de los problemas ambientales más importantes que afectan al mundo, causado por la adición de sustancias al medio ambiente, otros procesos de producción, interacciones humanas (fuentes artificiales) y actividades de la vida diaria que tienen efectos adversos. Los principales contaminantes identificados en nuestro país incluyen plomo, mercurio, aluminio, arsénico, magnesio, manganeso, hierro, cobre y cianuro.

Así mismo se indica que “la falta de estrategias de gestión de desechos en la minería transporta grandes cantidades de contaminantes a los cuerpos de agua, incluidos metales tóxicos que son altamente perjudiciales para la salud humana y la mayoría de las formas de vida. La presencia de metales pesados en el agua hace condicionante su uso. Por lo tanto, su uso como fuente de agua puede verse comprometido, limitando la disponibilidad básica de agua” (CEPAL, 2022, p. 49).

Por otro lado el Reporte de conflictos sociales (2004) indicó sobre el proyecto “Shahuindo” que opera principalmente en el sector minería y metales, está ubicado en la cuenca del río Condebamba. La Unidad de conflictos sociales menciona una serie de conflictos, entre ellas en Cajamarca especifica el problema acontecido en Shahuindo, donde

menciona que: La contaminación originada por la minería Shahuindo en la provincia de Cajabamba desde hace años, viene provocando consecuencias grave, afectando al medio ambiente, sobre todo a los ríos colindantes, siendo uno de ellos el Río Condebamba, los pobladores de la región se encuentran bastante preocupados por el impacto que la minería Shahuindo provoca al medio ambiente y a los recursos naturales ya que en la región se practica la actividad de agricultura y ganadería.

### **Formas de contaminación del agua:**

La EPA (2012) define a las fuentes de contaminación del agua de la siguiente manera:

- Fuentes puntuales: Son aquellas en que los contaminantes llegan al medio receptor desde un punto de descarga fijo y definido o ubicación geográfica particular, que se puede determinar de forma precisa, como pueden ser los sistemas de tratamiento de aguas residuales, industrias, hospitales, edificios.
- Fuentes difusas: La contaminación no puntual está asociada con el agua de lluvia, el derretimiento del hielo, las filtraciones, etc. La contaminación difusa es la contaminación asociada con fuentes difusas, a medida que llueve ésta arrastra los contaminantes naturales o producidas por el hombre.

**Contaminación en aguas superficiales:** Pabón E. (2020) nos señala que se produce por las descargas de aguas residuales o parcialmente tratados. También es producido por escurrimientos agrícolas, mineros, urbanos y vertederos de residuos sólidos.

### **Metales:**

Rosas (2001) nos dice que los metales son materiales que se obtienen a partir de minerales que forman parte de las rocas. Según la RAE, los metales son buenos conductores de calor y de la electricidad. Los sistemas de producción industrial actual utilizan metales pesados para obtener materiales. Esto, en principio, hace posible obtener el producto deseado a costes de producción relativamente bajos. Sin embargo, el uso de estos metales plantea serios problemas ambientales porque son altamente tóxicos para los organismos con los que interactúan cuando se liberan. Se han desarrollado varios métodos y procedimientos para probarlos.

Según Pabón S. & Benitez E. (2020), uno de los problemas a nivel ambiental es la contaminación de las fuentes hídricas por metales, ya que son considerados un serio problema para los habitantes de las poblaciones que se abastecen de dicho río, lo cual conduce a serios problemas debido al aumento en los costos de los tratamientos médicos y disminución en la productividad en los habitantes de la zona.

#### **1.1.2.7. Contaminación de metales pesados en agua**

En su trabajo de investigación definió la contaminación de metales pesados, donde menciona que: “Los metales pesados son elementos de alta densidad, que al ser liberados al medio ambiente produce un efecto negativo en el ecosistema. El peligro de los metales pesados es aún mayor porque no son ni química ni biológicamente degradables. Una vez liberados, pueden sobrevivir en el medio ambiente durante cientos de años. El aumento de las concentraciones de estos compuestos en el agua se debe principalmente a la

contaminación puntual de la industria o la minería. Los lixiviados de vertederos y aguas residuales también pueden ser una fuente de contaminación” (Rios, 2017, pp. 3,4)

JAKSIC FM (2017) señaló que actualmente, uno de los principales problemas ambientales es la contaminación por metales pesados de las fuentes de agua en el mundo, debido a que la toxicidad de los metales pesados en el agua de los ríos es un problema candente para la población. Es por eso, que el ser humano se ha visto en la necesidad de realizar tratamientos para reducir la concentración de metales de los cuerpos de agua y así contribuir a la no contaminación de los recursos hídricos. Entre los diversos métodos que existen para el control de metales, podemos encontrar métodos tales como: precipitación, oxidación reducción, intercambio iónico, filtración, tratamiento electroquímico, tecnología de membranas y recuperación por evaporación, adsorción y bioadsorción. Ingenieros, epidemiólogos, climatólogos, toxicólogos, agrónomos y químicos son los que pueden enfrentar el desafío de reducir la contaminación del aire, el agua y el suelo. Los metales pesados el Hg,Pb,Cd,Tl,Cu,Zn,Cr.

#### **1.1.2.8. Vías de entrada**

Según el autor Rosas H. (2012) los metales tienen tres vías principales de entrada en el medio acuático:

- La vía atmosférica, se produce debido a la sedimentación de partículas emitidas a la atmósfera por procesos naturales o antropogénicos (principalmente combustión de combustibles fósiles y procesos de fundición de metales)

- La vía terrestre, producto de filtraciones de vertidos, de la escorrentía superficial de terrenos contaminados (minas, utilización de lodos como abono, lixiviación de residuos sólidos, precipitación atmosférica, etc.) y otras causas naturales.

- La vía directa, de entrada de metales es a consecuencia de los vertidos directos de aguas residuales industriales y urbanas a los cauces fluviales.

#### **1.1.2.9. Toxicidad de los metales pesados**

Las actividades naturales y humanas causan contaminación y degradan los recursos naturales. En el caso de la contaminación de los recursos hídricos, diferentes actividades económicas producen diferentes contaminantes y cambian los parámetros habituales de calidad del agua. Para A. Rosas (2014), los niveles de toxicidad potencial y biodisponibilidad que pueden presentar los metales pesados en el medio ambiente dependen de muchos factores (bióticos y abióticos) que los hacen más o menos tóxicos en el medio ambiente. Eróstegui (2012) definió los metales pesados como sustancias naturales de alto peso molecular que afectan negativamente a la salud cuando se encuentra en ambientes a altas concentraciones. Para el autor, cada metal pesado tiene un mecanismo de acción y un lugar donde se acumula tanto en la salud como en el medio ambiente.

#### **1.1.2.10. Estándares de calidad ambiental**

Para el EDERA (2021) los estándares son herramientas de gestión ambiental que se utiliza para evaluar la calidad del ambiente en el territorio nacional. Los estándares de calidad ambiental se miden en el ambiente y son consecuencia de las emisiones o efluentes producidos por diversas actividades más la acción propia de la naturaleza que es capaz de absorber o diluir dichas emisiones o efluentes. Los ECA, se evalúan, pero no se fiscalizan dado que es un indicador global. Los límites máximos permisibles son los niveles permitidos de emisiones que las empresas deben cumplir, por lo tanto son fiscalizados por la autoridad.

Los estándares de calidad ambiental miden 5 componentes que forman nuestro ambiente:



- Agua.
- Suelo.
- Aire.
- Ruido.
- Radiaciones.

Según el Decreto Supremo D.S. N°004-2017-MINAM categoría 3, los ECA para el agua regula 104 parámetros, entre los que se encuentran elementos microbiológicos y físico-químicos. El ECA que en el presente trabajo se va a comparar fue tomando el componente agua, debido a la existencia de actividades de agricultura y ganadería en Cajabamba, por lo tanto se tomará la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales. Estos estándares fueron evaluados, tomando muestra del Río Condebamba, para determinar si cumple los criterios de aceptación que nos indica el Ministerio del ambiente. Si en el caso no cumpliera se indicaría que existe contaminación debido a la actividad minera lo cual perjudica el entorno ambiental.

**Tabla 1**

*Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales*

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Aluminio	mg/L		5	5
Arsénico	mg/L		0.1	0.2
Bario	mg/L		0.7	N.A
Berilio	mg/L		0.1	0.1
Boro	mg/L		1	5
Cadmio	mg/L		0.01	0.05
Cobre	mg/L		0.2	0.5
Cobalto	mg/L		0.05	1
Cromo total	mg/L		0.1	1
Hierro	mg/L		5	N.A
Litio	mg/L		2.5	2.5
Magnesio	mg/L		N.A	250
Manganeso	mg/L		0.2	0.2
Mercurio	mg/L		0.001	0.01
Niquel	mg/L		0.2	1
Plomo	mg/L		0.05	0.05
Selenio	mg/L		0.02	0.05
Zinc	mg/L		2	24

*Fuente:* Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, p. 17

### 1.1.2.11. Importancia del estudio de metales

“La importancia del estudio de la contaminación de metales en aguas, es debido a su toxicidad y su rápida acumulación en los organismos vivos, los efectos adversos de los metales no se presentan de manera inmediata” (Perez, 2003, pp. 39,40).

### **1.1.2.12. Tratamiento de metales pesados**

En el trabajo de investigación de Izquierdo R. (2017) definió la contaminación de metales pesados, donde menciona que se han desarrollado técnicas especialmente para el tratamiento y remoción de este tipo de elementos contaminantes del medio acuoso, estas técnicas pueden considerarse como convencionales refiriéndonos a las técnicas normalmente usadas para la remoción de metales pesados (filtración por membrana, intercambio iónico, adsorción, precipitación química, electrocoagulación, coagulación, floculación entre otros) y las técnicas no convencionales las cuales hacen referencia a procesos innovadores para la remoción de metales pesados en aguas.

“El uso de zeolitas naturales, principalmente clinoptilolita, se ha convertido en una práctica importante en la gestión ambiental de los residuos industriales, fundamentalmente la eliminación de metales tóxicos” (Gerardo R, 2017, p. 235).

Gerardo R. (2017) observó propiedades de intercambio iónico (I.I.) en minerales de silicato cristalino como arcillas, feldespatos y zeolitas. Esto se considera una propiedad intrínseca de estos minerales, porque resulta del reemplazo isomorfo de los átomos de silicio por otros átomos en su estructura cristalina. En el caso de las zeolitas, esta sustitución se produce con átomos de aluminio tetravalente, lo que crea una carga negativa neta en la estructura, que es compensada por los cationes que se encuentran fuera de ellos. Esos cationes son intercambiables, por lo que I.I. lo cual también está relacionado con la naturaleza de su estructura cristalina microporosa, ya que el tamaño de sus cavidades y los cationes intercambiables determinan el curso del proceso. En 1858, Eichhorne fue el primero en demostrar la capacidad de las zeolitas para intercambiar cationes con constituyentes catiónicos.

Además “hasta ahora todo se ha atribuido a las zeolitas sintéticas y naturales desde la perspectiva de la gestión ambiental a través de la eliminación de contaminantes, la mayoría de los autores está de acuerdo en la superioridad de las zeolitas naturales, con base en: Bajos costos de extracción y procesamiento para el reemplazo, disponibilidad en grandes cantidades, excelente estabilidad química y procesos térmicos, lo que permite su reactivación y uso en varios ciclos” (Gerardo R, 2017, p. 232).

Gerardo R. (2017) investigó y encontró en el libro del investigador ruso N.F. Chelishchev “Intercambio ionico en zeolitas de alta sílice” estudios cinéticos en el equilibrio en tres zeolitas naturales clinoptilolita (CLI), mordenita (MOR) y phillipsita (PHI). Las regularidades e influencia de distintos factores en el proceso de I.I. como la temperatura, tamaño de partícula, concentración electrolito, tamaño y valencia contraiones, y el concepto de equilibrio de I.I. son abordados y discutidos con abundantes datos experimentales.

### **Estudios de retención y tiempo**

R. Garcia (2010) evaluó el procedimiento seguido para estudiar la velocidad de intercambio de los iones fue el reportado por McDougal , este consistió en mantener en contacto 0,2 g de zeolita, con 200 mL de solución del ion que se deseaba retener, en un vaso termostatzado provisto de un agitador magnético. La solución se hizo circular a través de la zeolita usando una bomba peristáltica con un flujo de 15 mL/min. Se determinó el cambio de concentración en la solución, retirando alícuotas de 1 mL en función del tiempo y analizándolas por los procedimientos descritos. En el estudio preliminar de velocidad de retención en las distintas zeolitas se usaron soluciones de sulfato de Cr(III) de 400 ppm y de nitrato de Hg(II) de 1 ppm preparadas a partir de las sales  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$  (BDH) y

$\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (Merck). La temperatura de intercambio fue de  $30^\circ\text{C}$ , el pH inicial de la solución se ajustó a 4,0 y el tamaño de partícula de la zeolita a 10-20 mallas.

Otro investigador, como R. García (2010) evaluó el estudio de la influencia de algunas variables del proceso en la velocidad de retención se hizo mediante un diseño factorial fraccional de experimentos. Los valores de las variables utilizadas son la concentración inicial de la solución, T la temperatura del medio, pH es el pH inicial de la solución y  $t_p$  el tamaño de partícula de la zeolita, la velocidad inicial de intercambio del ión metálico en las zeolitas sintéticas y naturales consideradas depende principalmente del tamaño de las aberturas de los poros y de la capacidad de intercambio del material. Este comportamiento se explica por la diferencia en el tamaño de estos iones.

### **Métodos de extracción utilizados por diversos investigadores**

Gerardo R. (2017) menciona que Andrews R.D estudió a escala de laboratorio la remoción de metales pesados (Cu, Zn, Cd, Ni, Mn, Fe), por combinación de procesos de precipitación-neutralización con intercambio iónico con CLI natural sódica (CLI-Na), de desagües ácidos de minas del estado de Colorado, USA. Los resultados demostraron como la eliminación de los metales se verifica fundamentalmente por intercambio de los iones  $\text{Na}^+$ , en la disolución se incrementa considerablemente el contenido de  $\text{Na}^+$  y ligeramente el de  $\text{K}^+$ , como prueba del intercambio de estos con los cationes de los metales pesados. El ion  $\text{K}^+$ , se comporta de forma reversible en el intercambio. A modo general, la remoción de estos metales pesados es lenta pero efectiva, presentándose los mejores resultados para el Cu, Zn y Cd con un 99,91% y para el Mn 60% .

Así mismo Gerardo R. (2017) detalló que Chabalina, L. estudió en disoluciones sintéticas la remoción, por intercambio iónico, de cationes de metales pesados  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,

$Cd^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Zn^{2+}$  típicamente presentes en residuales de talleres galvánicos, usando zeolitas de diferentes yacimientos (X, Y, Z). Los resultados permitieron establecer diferencias en la selectividad y capacidad de intercambio de los materiales zeolíticos naturales sin modificación de estos yacimientos. La mayor capacidad de intercambio de iones Ni y Zn la mostró la zeolita de clinoptilolita cálcica del yacimiento X, para el Cd y Cu la CLI-HEU cálcica del yacimiento Y, mientras que para el Cr la de CLI sódica para un yacimiento Z.

- **Uso de Zeolitas**

En el proyecto de Adriana R (2016) definió a la zeolita como un mineral de origen volcánico, microporoso utilizada como absorbente de humedad y captador de contaminantes en la agricultura y tratamientos de agua. Existen más de 40 tipos de zeolitas las cuales debido a su composición permite la absorción de una u otras moléculas, entre los cuales tenemos: mordenita, clinoptilolita, heulandita, phillipsita, eroinita, chabazita, laumontita, stilbita, offretita, faujazita, natrolita, thomsonita, epistilbita, analcima, etc. Tienen la particularidad de absorber metales de diferentes cuerpos de agua. Desde el punto de vista del control ambiental a través de la remoción de contaminantes, la gran mayoría de los autores coinciden en la superioridad de las zeolitas naturales en base a: Bajos costos de extracción, disponibilidad de alto volumen, Excelente estabilidad a procesos químicos y térmicos, permite su reactivación y uso en varios ciclo.

D.caviedes (2015), menciona 20 técnicas convencionales y no convencionales empleadas para la remoción de metales pesados en recursos hídricos. Los elementos metálicos se denominan oligoelementos porque se encuentran en los ecosistemas acuáticos en concentraciones muy bajas.. Algunos son nutrientes esenciales para las plantas y los animales, micronutrientes (como Mn (Manganeso), Mo (Molibdeno), Cu (Cobre), Co

(Cobalto), Zn (Zinc), Sc (Escandio) y V (Vanadio)) mientras que otros elementos (como el Ni (Níquel), Sn (Estaño) y Cr (Cromo)) son esenciales únicamente para los animales, pero cuando estos elementos están presentes en sistemas ambientales a concentraciones superiores a ciertos niveles, debido a desequilibrios naturales o por introducción antropogénica, pueden ser tóxicos para los seres vivos.

- **Procedimientos comunes para la eliminación de metales.**

Rakic et al., (2013) detalla que las aguas residuales de la industria minera, los métodos de tratamiento comúnmente recomendados para la eliminación de metales pesados incluyen procesos como: la precipitación, la evaporación, la electrodiálisis, el secuestro de carbono, la extracción con solventes y el intercambio de carbono iónico con resina sintética. Otro procedimiento alternativo es utilizar las zeolitas que están constituidas por aluminio, silicio, hidrógeno, oxígeno y un número variable de moléculas de agua. La estructura cristalina está basada en las tres direcciones de la red del  $SiO_4$  que forman tetraedros con sus cuatro oxígenos compartidos con los tetraedros adyacentes.

## Principales tipos de zeolitas naturales

**Tabla 2**

*Tipos de zeolitas naturales*

<b>Zeolitas</b>	<b>Formula Química</b>
Laumontita	$\text{Ca Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Clinoptilolita	$(\text{Na}, \text{K}, \text{Ca})_{2-3} \text{Al}_3(\text{Al}, \text{Si})_2 \text{Si}_{13} \text{O}_{36} \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$
Stilbita	$\text{Na Ca}_2 \text{Al}_5 \text{Si}_{13} \text{O}_{36} \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$
Phillipsita	$(\text{K}, \text{Na}, \text{Ca})_{1-2} (\text{Si}, \text{Al})_8 \cdot \text{O}_{16} \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$
Erionita	$(\text{K}_2, \text{Ca}, \text{Na}_2)_2 \text{Al}_4 \text{Si}_{14} \text{O}_{36} \cdot 15 \text{H}_2\text{O}$
Offretita	$(\text{K}_2, \text{Ca})_5 \text{Al}_{10} \text{Si}_{26} \text{O}_{72} \cdot 30 \text{H}_2\text{O}$
Faujazitita	$(\text{Na}_2 \text{Ca}) \text{Al}_2 \text{Si}_4 \text{O}_{12} \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$
Chabazita	$\text{Ca Al}_2 \text{Si}_4 \text{O}_{12} \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$
Natrolita	$\text{Na}_2 \text{Al}_2 \text{Si}_3 \text{O}_{10} \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$
Thomsonita	$\text{Na Ca}_2 \text{Al}_5 \text{Si}_5 \text{O}_{20} \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$
Mordenita	$(\text{Ca}, \text{Na}_2, \text{K}_2) \text{Al}_2 \text{Si}_{10} \text{O}_{24} \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$
Epistilbita	$\text{CaAl}_2 \text{Si}_6 \text{O}_{16} \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$
Analcima	$\text{Na}, \text{AlSi}_2 \text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Heulandita	$(\text{Na}, \text{Ca})_{2-3} \text{Al}_3(\text{Al}, \text{Si})_2 \text{Si}_{13} \text{O}_{36} \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$

*Nota.* Jiexiang Y Surent (1993), p. 2



**Obtención:** “Las zeolitas sedimentarias son minadas por métodos de cielo abierto.

La excavación se lleva a cabo por equipos convencionales para remover la tierra. Este tipo de minado minimiza costos, como el uso de explosivos, el equipo para remover la tierra i la carga directa de camiones de carga para transportar los minerales minados para que sean transportados a una planta de procesado. las variaciones en las calidades de la mena pueden ser manejadas para un minado selectivo. Las zeolitas naturales son vendidas como productos triturados y cribado, finalmente con pulverizantes o micronizados a productos ultrafinos” (Michelle D, 2014, p. 8).

**Aplicaciones:** En la investigación de Michelle D. (2014) menciona las aplicaciones de la zeolita, las cuales son:

- Tratamientos de agua: Tratamiento de aguas residuales y potabilización del agua.
- Filtración de aguas de piscinas.
- Agricultura y Horticultura: Suplemento dietético para animales. tratamiento de residuos de granja. Eliminación de amoníaco en piscifactorías. fabricación de fertilizantes de liberación lenta. Modificación de los suelos y medios de cultivo para plantas.
- Usos industriales: Purificación y separación de gases, manipulación de residuos nucleares, materiales de construcción ligeros y control de contaminación.
- Otros usos: Desodorantes, deshumidificadores y cura de mascotas

El método de tratamiento con zeolita tiene una gran ventaja, en comparación con los métodos mencionados anteriormente, desde un punto de vista económico, debido a que la zeolita tiene un bajo costo.

**Zeolita empleada:** Clinoptilolita 83%  $(\text{Na,K,Ca})_{2-3}\text{Al}_3(\text{Al,Si})_2\text{Si}_{13}\text{O}_{36}\cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ , el otro 17% constituye cal.

#### Descripción de la zona de estudio

- Río Condebamba:

Según el Plan de la provincia de Cajabamba (2017) menciona que el Río Condebamba se encuentra en la provincia de Cajabamba, se encuentra ubicada en la zona Sur del departamento de Cajamarca; limita por el norte con la Provincia de San Marcos; por el Sur, Este y Oeste con las provincias de Bolívar, Otuzco, Gran Chimú y Sánchez Carrión del departamento de La Libertad. Cuatro distritos conforman la provincia de Cajabamba: Cajabamba, Cachachi, Condebamba y Sitacocha, alcanzado una superficie territorial total de 1,807.64 kilómetros cuadrados. El Río Condebamba en su tramo alto, recibe el nombre de río huamachuquino, por tener su nacimiento al nor oeste de la ciudad de Huamachuco; se forma por la unión del río Sanagorán que corre hacia el oeste del cerro de Marcahuamachuco y el río grande o Huamachuco que corre por el lado este del mismo cerro; ambos van a unirse en el lugar llamado Huayito, para formar el río Condebamba, que sigue su curso de sur a norte.

También el Plan de la provincia de Cajabamba (2017) menciona que la provincia de Condebamba tiene una población de 14214 habitantes según el censo del 2015 realizado por la INEI. Ubicada en diferentes elevaciones, la región ofrece un cuadro climático muy diverso y complejo. El clima es cálido y seco, con lluvias regulares de octubre a marzo y una temperatura

media anual de 19 °C. La presencia de las montañas en el lado occidental de la Cordillera de los Andes le da a la topografía del estado una gran variedad de ondulaciones, con sus afluentes internos cruzando los distritos de Condevamba, Cajabamba y Sitacocha, con cerros que superan los 4.000 metros de altura. La altitud por debajo es Rumi Rumi (4.496 metros de altura). La ubicación estratégica de la provincia de Cajabamba en el Corredor Económico Sur de la Región Cajamarca, es propicia para su integración hacia la cuenca del Marañón, el Valle de Condebamba y la costa; los flujos económicos han permitido la generación de una actividad comercial cada día más creciente especialmente concentrada en las capitales provinciales y sus distritos.

El Censo agrario (2012) reveló que la producción agraria, al igual que en el resto del departamento es variada, la mayor superficie en la provincia es destinada a productos tradicionales , como se realizan especialmente en la parte media alta: trigo, lenteja, arveja, frijol y ñuña, productos hortícolas, ajos, frutas, madera, caña de azúcar (chancaca) y en menor grado papa. Los productores de madera (eucalipto), taya, palta, granadilla, especialmente en los sectores de laderas y lugares accidentados. El 80,59% de la producción es para consumo, la agricultura se basa en la subsistencia o agricultura de subsistencia, poca participación en el mercado (2,99% de la producción se vende en el mercado), y hay una gran cantidad de producción para el cultivo futuro, indica que no hay suministro de semillas.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general:**

¿Cuál es la eficiencia de la zeolita en la remoción de metales en el Río Condebamba en relación a los estándares de calidad del agua-categoría 3?

### **1.2.2. Problemas específicos:**

¿Cuál es la concentración de metales pesados en el río Condebamba antes de realizar el tratamiento con zeolita como absorbente?

¿Cuál es la concentración de metales pesados en el río Condebamba después de realizar el tratamiento con la Zeolita como absorbente?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

- Evaluar la eficiencia de la zeolita en la remoción de metales pesados en el Río Condebamba en relación a los estándares de calidad ambiental – categoría 3, Cajamarca 2022.

### **1.3.2. Objetivo específico**

- Determinar la concentración de metales en el río Condebamba antes de utilizar la Zeolita como absorbente.
- Determinar la concentración de metales en el río Condebamba después de utilizar la Zeolita como absorbente.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

El proceso de remoción de metales presentes en el río Condebamba utilizando Zeolita es eficiente con respecto a los estándares de calidad ambiental tipo 3.

### **1.4.2. Hipótesis específica**

La concentración de metales en el río Condebamba antes de realizar el tratamiento con zeolita supera al estándar de calidad ambiental de tipo 3.

La concentración de metales en el río Condebamba después de realizar el tratamiento con zeolita supera al estándar de calidad ambiental de tipo 3.

## **CAPÍTULO II: METODOLOGÍA**

### **2.1. Tipo de investigación**

“La investigación experimental es el proceso de aplicar una condición, estímulo o tratamiento particular (la variable independiente) a un sujeto o grupo de personas y observar el efecto o la respuesta que se produce (la variable dependiente)” (Fidias G. Arias, 2012, p. 34). El tipo de investigación utilizado es experimental y el objetivo es cuantificar las concentraciones de metales en el agua y proponer tratamientos con zeolitas para reducir sus concentraciones

El enfoque de estudio es de tipo cuantitativo ya que se llevó a cabo la recolección de datos, las cuales son fundamentales en el estudio realizado, abarca desde tener una serie de ideas, plantear el problema de investigación, revisar la literatura, elaborar hipótesis, realizar al estudio experimental y posterior a ella se obtuvieron datos los cuales fueron analizados

### **2.2. Población y muestra**

#### **Población:**

La población abarca el punto de monitoreo con las coordenadas 7°31'09.8"S 78°09'19.8"W ,donde se tomaron 20 litros del Agua superficial del Río Condebamba departamento de Cajamarca, provincia de Cajabamba, distrito de Cachachi.

#### **Muestra:**

Se recolectó 5 litros del agua superficial del Río Condebamba con las coordenadas 7°31'09.8"S 78°09'19.8"W para los análisis correspondientes.

### 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Para la toma de muestras se tomó como guía el Protocolo nacional para el monitoreo de Calidad de los recursos hídricos superficiales.

#### **Técnica:**

**Fase campo:** Las tesis fueron al lugar de muestreo teniendo conocimiento sobre la toma de muestras, preservación y transporte. Para esta actividad se necesitó alquiler de camioneta, viáticos, materiales de escritorio (lapiceros), material de análisis (ácido nítrico, agua destilada), y cadena de custodia. La muestra tomada fue una muestra simple o puntual (también denominada discreta), es decir se tomó una porción de agua en un determinado punto para un análisis individual, la composición y características de las muestras fueron representación del instante en el que se realizó la recolección. Para ello se dirigieron al punto de muestreo en el Río Condebamba (coordenadas 7°31'09.8"S 78°09'19.8"W).

**Fase laboratorio:** Se realizó agitación constante de la muestra del río Condebamba y la zeolita previamente procesada. En este caso se tomó diferentes pesos de zeolita (25, 50 y 100 mg) para evaluar con qué proporción hay una mejor eficiencia. Posterior a esto, se realizó la lectura de metales por el método EPA200.8: DETERMINATION OF TRACE ELEMENTS IN WATERS AND WASTES BY INDUCTIVELY COUPLED PLASMA - MASS SPECTROMETRY en un laboratorio acreditado por INACAL (Instituto nacional de calidad).

**Fase gabinete:** El laboratorio emitió sus datos analizados, los cuales sirvieron para comparar con el estándar de calidad ambiental, tipo 3.

## **2.4. Materiales experimentales:**

### **2.4.1 Materiales**

- Galonera de 4L.
- Cadena de custodia.
- Cooler.
- Agua purificada.
- Frascos de plástico de 125 ml.
- Etiquetas para rotular.
- Zeolita comercial.
- Guantes de nitrilo.
- Mandil.
- Respirador media cara.
- Balanza.
- Centrífuga.
- Fiola de 1 Litro.
- GPS.

### **2.4.2 Reactivos**

- Ácido nítrico 1:1.

### **2.4.3 Otros materiales**

- Libreta de apuntes, lapiceros.



- Laptop y cámara fotográfica.

## **2.5. Técnicas e instrumentos de análisis de datos:**

Una vez extraídas las muestras de las aguas superficiales, se procederá a codificar, y al obtener los resultados de las concentraciones de metales se procederá a almacenar la información en un Excel y así evaluar si existe remoción de metales utilizando Zeolita como medio filtrante. Se detallará los resultados con indicadores y gráficos, que permitirán analizar la variación de la concentración de metales antes y después del tratamiento.

### **2.5.1. Técnicas**

El primer paso fue indicar el punto de muestreo en el Río Condebamba, luego se procedió a realizar la recolección de muestras, las cuales fueron llevadas al Laboratorio Regional del agua para su análisis. Una vez teniendo los resultados se procedió a comparar con el Estándar de calidad ambiental de tipo 3 y posterior a eso se procedió a realizar las pruebas en laboratorio utilizando zeolita para así demostrar la disminución de metales. La técnica utilizada por el laboratorio fue “EPA Method 200.8: Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry”.

### **2.5.2. Instrumentos**

Cadena de custodia, informes de ensayo emitido por el Laboratorio Regional del agua de Cajamarca, informes de ensayo emitido por el Laboratorio SGS del Perú S.A.C.

## **2.6. Proceso de toma de muestra**

### **2.6.1 Fase campo:**

La toma de muestra en campo se inició dirigiéndose al punto de muestreo en el Río Condebamba ubicado a  $7^{\circ}31'09.8''S$   $78^{\circ}09'19.8''W$ , así mismo se llenó la cadena de custodia donde figura la fecha, hora, coordenadas de punto de monitoreo, denominación de la muestra, nombre de las personas que realizan el monitoreo, tipo de envase utilizado. Se procedió a codificar el envase para recolección de muestra, denominándose: Río Condebamba.

Luego se realizó la toma de muestra, tomando un punto neutral del río, para que la muestra que se tome sea representativa y homogénea. Se procedió a enjuagar el envase 3 veces con las aguas del Río Condebamba y se realizó la recolección de muestra, la cual fue preservada con ácido nítrico 1:1. Cabe recalcar que este procedimiento implicó utilizar correctamente el equipo de protección personal correspondiente, ya que la exposición al ácido nítrico causa irritación al pulmón, tos y falta de aire, por ello se utilizó respiradores y guantes de nitrilo, para evitar cualquier tipo de contacto con la solución. Las muestras preservadas y correctamente etiquetadas fueron procesadas posteriormente para la determinación de metales totales en el Laboratorio Regional del Agua de Cajamarca (laboratorio acreditado por INACAL - Instituto nacional de calidad).

### **2.6.2 Fase laboratorio:**

Se realizó 3 pesados de zeolita: 25 mg de zeolita, 50 mg de zeolita y 100 mg de zeolita. Cada peso se llevó a 1 Litro aforando con muestra del Río Condebamba con el objetivo de proceder a una agitación, que según las pruebas en laboratorio,

“Eficiencia de la Zeolita en la remoción de metales pesados en el Río Condebamba en relación a los estándares de calidad ambiental categoría 3, Cajamarca 2022”

para el peso de 100mg de zeolita se agitó aproximadamente 3 horas hasta observar una solución homogénea, para 50 mg de zeolita se agitó 2 horas, y para 25mg de zeolita se agitó 1 hora de manera constante, posteriormente se procedió al centrifugado y se procedió a preservar la muestra con ácido nítrico concentrado al 1:1, con el fin de llevar la muestra en un frasco de plástico a analizar en el Laboratorio SGS del Perú S.A.C y determinar con qué proporción de zeolita existe una mejor remoción de metales.

Las muestras llevadas al laboratorio SGS DEL PERÚ S.A.C (laboratorio acreditado por INACAL - Instituto nacional de calidad) ,serán denominadas de la siguiente manera:

**Tabla 3**

*Dosificación para el tratamiento*

Pruebas	Dosificación para el tratamiento mg/L de Río Condebamba
Prueba A	100mg de zeolita/1L de Río Condebamba
Prueba B	50mg de zeolita/1L de Río Condebamba
Prueba C	25mg de zeolita/1L de Río Condebamba

### **2.6.3 Aspectos éticos de la investigación:**

Las pruebas y datos consignados en el presente trabajo de tesis son verídicos, demostrando así transparencia y autenticidad en los datos, además que los datos proporcionados provienen de 2 laboratorios reconocidos a nivel nacional tal como son el Laboratorio regional del agua de Cajamarca y S.G.S del Perú S.A.C, laboratorios que cumplen con los controles de calidad, emitiendo datos verdaderos,

“Eficiencia de la Zeolita en la remoción de metales pesados en el Río Condebamba en relación a los estándares de calidad ambiental categoría 3, Cajamarca 2022”

asegurando así mismo la calidad de sus resultados. Además se está respetando los lineamientos establecidos por la Universidad Privada del Norte para el desarrollo de trabajo de tesis.

## CAPÍTULO III: RESULTADOS

### 3.1 Análisis del agua del Río Condebamba

De acuerdo a lo establecido en los objetivos planteados, se llevó la muestra del Río Condebamba al laboratorio Regional del agua, donde se llevó a cabo el análisis de metales por la técnica instrumental EPA 200.8, utilizando el equipo ICP-MS, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 4**

*Resultados de la muestra del Río Condebamba antes del tratamiento*

Parámetros	Unidad de medida	Río Condebamba
Aluminio	mg/L	10.375
Arsénico	mg/L	<LCM
Bario	mg/L	2.821
Berilio	mg/L	<LCM
Boro	mg/L	5.906
Cadmio	mg/L	<LCM
Cobre	mg/L	0.724
Cobalto	mg/L	<LCM
Cromo total	mg/L	0.968
Hierro	mg/L	7.775
Litio	mg/L	<LCM
Magnesio	mg/L	8.68
Manganeso	mg/L	<LCM
Mercurio	mg/L	<LCM
Niquel	mg/L	<LCM
Plomo	mg/L	0.136
Selenio	mg/L	<LCM
Zinc	mg/L	12.742

*Nota:* <LCM, quiere decir que la concentración del analito es menor a lo establecido por el laboratorio regional del agua de Cajamarca.

Al comparar los resultados, con los estándares de calidad ambiental del agua, categoría 3, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 5**

*Comparación de resultados de muestra del Río Condebamba vs Estándar de calidad ambiental tipo 3(ECA 3)*

Parámetros	Unidad de medida	Río Condebamba	ECA 3	
			D1: Riego de vegetales Agua para riego no restringido y restringido	D2: Bebida de animales Bebida de animales
Aluminio	mg/L	10.375	5	5
Arsénico	mg/L	<LCM	0.1	0.2
Bario	mg/L	2.821	0.7	N.A
Berilio	mg/L	<LCM	0.1	0.1
Boro	mg/L	5.906	1	5
Cadmio	mg/L	<LCM	0.01	0.05
Cobre	mg/L	0.724	0.2	0.5
Cobalto	mg/L	<LCM	0.05	1
Cromo total	mg/L	0.968	0.1	1
Hierro	mg/L	7.775	5	N.A
Litio	mg/L	<LCM	2.5	2.5
Magnesio	mg/L	8.68	N.A	250
Manganeso	mg/L	<LCM	0.2	0.2
Mercurio	mg/L	<LCM	0.001	0.01
Niquel	mg/L	<LCM	0.2	1
Plomo	mg/L	0.136	0.05	0.05
Selenio	mg/L	<LCM	0.02	0.05
Zinc	mg/L	12.742	2	24

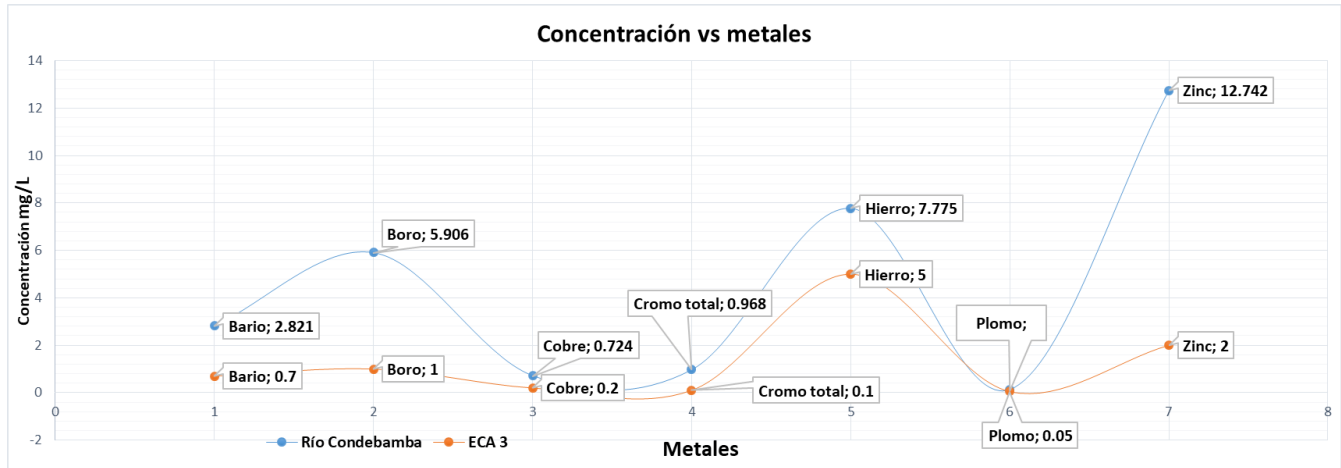
A continuación se muestran los analitos de metales que resultaron mayor que el Estándar de calidad ambiental categoría 3.

Donde D1: hace referencia al agua para riego de vegetales.

D2:hace referencia al agua para bebida de animales.

**Figura 1**

*Resultados del análisis antes del tratamiento*



De acuerdo con los valores representados en las figura 1, existen concentraciones de metales en el Río Condebamba que superan al Estándar de calidad ambiental establecidos en el D.S. N°007-2017-MINAM categoría 3, estos analitos son: Bario, Boro, Cobre, Cromo, Hierro, Plomo y Zinc.

**3.2 Eficiencia de la remoción utilizando zeolita**

Para determinar la eficiencia de los elementos Bario, Boro, Cobre, Cromo, Hierro, Plomo y Zinc, lo primero que se realizó fue obtener la concentración de cada metal presentes en el Río Condebamba, así como la concentración después del tratamiento con zeolita, con esos datos se calculó el % de eficiencia para cada metal, utilizando la ecuación 1.

**Ecuación 1**

$$\% \text{ remoción "A"} = 100\% - \left( \frac{\text{Concentración del metal después del tratamiento mg/L} * 100\%}{\text{Concentración del metal antes del tratamiento mg/L}} \right)$$

Como bien se mencionó en la Fase laboratorio se realizaron 3 pruebas, utilizando agitación constante, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 6**

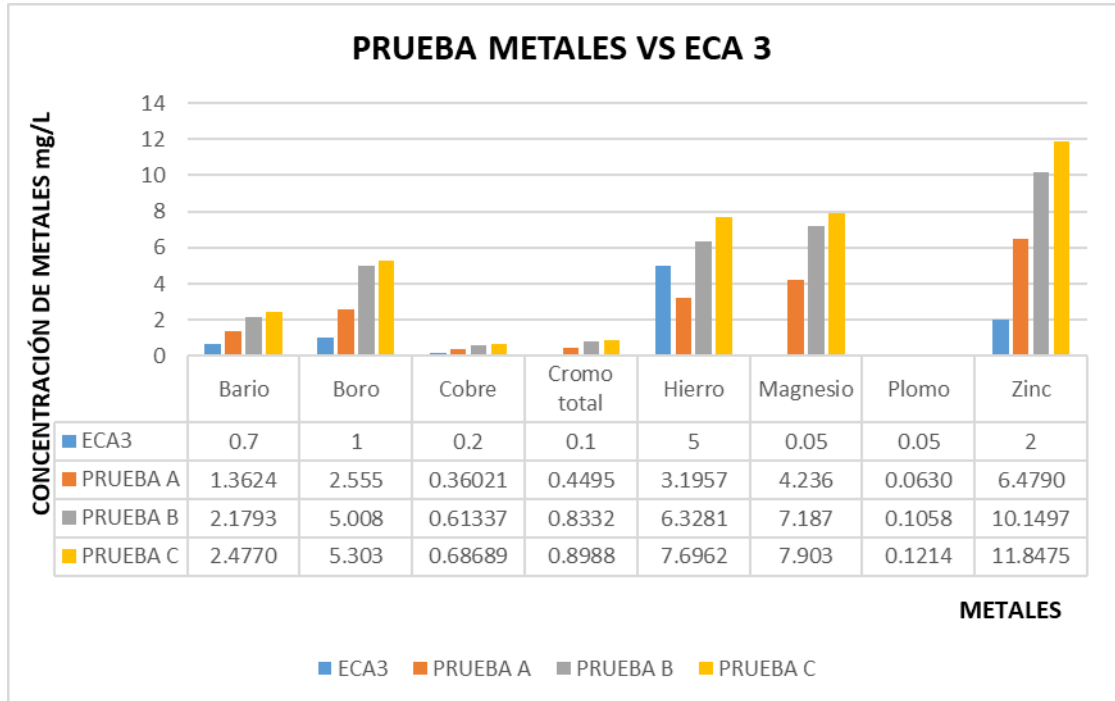
*Resultados después del tratamiento con zeolita*

Analitos	Concentración de metales mg/L			Remoción de metales %		
	Prueba A	Prueba B	Prueba C	Prueba A	Prueba B	Prueba C
Bario	1.3624	2.1793	2.4770	51.7051	22.7473	12.1943
Boro	2.555	5.008	5.303	56.739	15.205	10.210
Cobre	0.36021	0.61337	0.68689	50.24724	15.28039	5.12569
Cromo total	0.4495	0.8332	0.8988	53.5640	13.9256	7.1488
Hierro	3.1957	6.3281	7.6962	58.8977	18.6096	1.0135
Magnesio	4.236	7.187	7.903	51.198	17.200	8.952
Plomo	0.0630	0.1058	0.1214	53.6765	22.2059	10.7353
Zinc	6.4790	10.1497	11.8475	49.1524	20.3445	7.0201



**Figura 2**

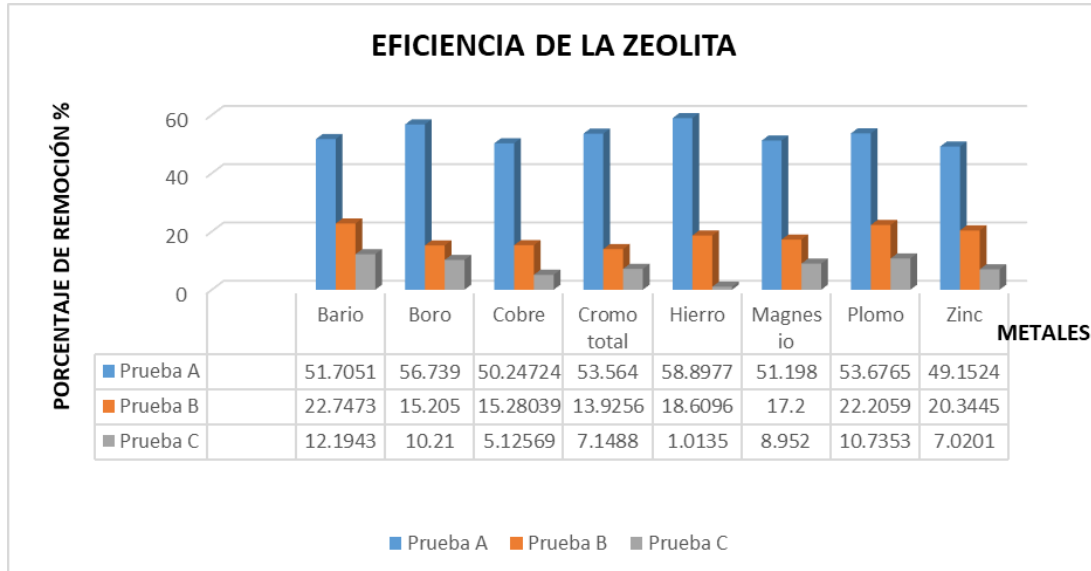
*Prueba metales vs ECA3*



En la Figura 2, la concentración de metales después del tratamiento con zeolita, tanto en las pruebas A,B,C, superan el Estándar de calidad ambiental categoría 3 para los analitos Bario, boro, cobre, cromo, hierro, magnesio, plomo y zinc, por lo tanto el tratamiento con zeolita no fue eficiente.

**Figura 3**

*Eficiencia de la zeolita*



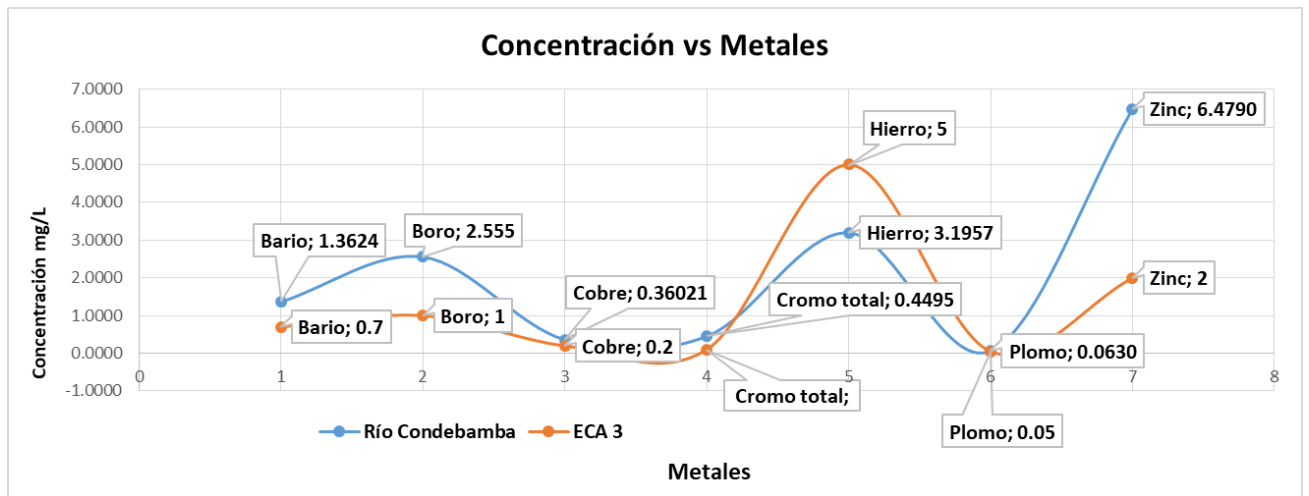
En la figura 3 se demostró que la eficiencia de la zeolita con la prueba A utilizando 100 PPM de zeolita tuvo una mejor remoción para el agua tratada, mientras exista mayor concentración de tratamiento, la remoción podría alcanzar los límites máximos permisibles para el ECA3.

### 3.3 Comparación de resultados con el Estándar de Calidad ambiental tipo3

Se comparó el Estándar de calidad ambiental tipo 3 con la concentración que presenta mejor remoción (100PPM).

**Figura 4**

*Resultados del análisis después del tratamiento*



Si bien es cierto, existe una remoción del 50% para los analitos mencionados, no cumple con el Estándar de calidad ambiental establecidos en D.S. N°004-2017-MINAM categoría 3.

## **CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

### **4.1 DISCUSIONES**

De acuerdo a la tabla 6 para los siguientes analitos: Bario, Boro, Cobre, Cromo, Hierro, Plomo y Zinc se obtuvieron 51.70% de remoción de Bario, 56.7% de remoción de Boro, 53.56 % de remoción de Cobre, 53.56% de remoción de cromo, 58.90 % de remoción de Hierro, 53.68 % de remoción de Plomo, 49.15 % de remoción de Zinc; similar a lo encontrado por D.Loya en Febrero (2022) que obtuvo remoción del 50% de metales arsénico y cadmio utilizando también zeolita como absorbente.

En la tabla 6, se comprueba que a mayor cantidad de masa del absorbente, existe más espacios disponibles por lo tanto más sitios disponibles para la absorción de metales, similar a lo encontrado por P.Valdez (2018).

Según al estudio de M.Rodriguez (2016) obtuvo una capacidad de absorción favorable del 60% para los metales plomo, zinc, además indicó que la zeolita es un mineral que se caracteriza por su bajo costo y debido a su composición no presenta inconvenientes para eliminar metales en aguas, por lo tanto es recomendable usar la zeolita para obtener buenos niveles de remoción de metales, tal como se ha demostrado en los resultados presentados en la tabla 1, los cuales presentaron remociones aproximadamente del 50% comprobándose así que la zeolita es una excelente opción cuando se requiere absorber metales para evitar contaminación tanto para la agricultura y de la misma forma que no perjudique a la ganadería.

Los resultados mostraron que las aguas superficiales del Río Condebamba tratadas con zeolitas, no cumplen con los límites máximo permisible establecidos en D.S. N°004-2017-MINAM categoría 3 para agua, por lo tanto se debería realizar un tratamiento a estas

aguas antes de ser vertidas al Río, ya que las concentraciones superan los límites máximos permisibles y son perjudiciales tanto para Riego de vegetales y bebida de animales, estos tratamientos de aguas, constituyen básicamente en separar la carga orgánica que contiene esas aguas, eliminando así la cantidad de residuos y contaminantes, los principales procesos físico-químicos que pueden ser incluidos en el tratamiento primario son los siguientes: sedimentación, flotación, coagulación, floculación y filtración.

En el presente trabajo de tesis se utilizó el tipo de zeolita clinoptilolita obteniendo una remoción del 50% aproximadamente, pero en el estudio presentado por J.Alvarado (2003) empleó la erionita para la remoción de arsénico, además empleó 10 días de tratamiento donde alcanzó una reducción de cromo a 8ppm, es decir se produjo una reducción del 99% utilizando la erionita, obteniendo un tratamiento eficaz de reducción de metales, para lo cual sería recomendable en otro futuro estudio, realizar las pruebas con el tipo de zeolita Erionita y así determinar si con ese mineral existe una mejor remoción de metales.

Una de las limitaciones que se presentó en el trabajo de tesis fue la distancia-tiempo, ya que si al momento de haber realizado el ensayo ocurriese un derrame de la muestra del Río Condebamba, implicaría un tiempo de 2.5h llegar hasta el lugar de muestreo. Cada ensayo de lectura de metales de la muestra del Río Condebamba implicó un costo, lo cual fue limitado por los tesisistas ya que recién están iniciando su vida laboral. Los tesisistas de ésta investigación no estuvieron en el mismo lugar donde se realizó la parte experimental, se encontraban en zonas retiradas de Cajamarca donde la señal fue baja y el internet era limitado, impidiendo una comunicación fluida entre estos. El primer laboratorio donde se realizó la primera lectura de metales entró en mantenimiento, lo cual perjudicó para realizar

los siguientes análisis de las muestras, por lo cual se tuvo que buscar otro laboratorio para el análisis.

## 4.2 CONCLUSIONES

- Se calculó la eficiencia de remoción de metales utilizando 3 proporciones distintas, cuando se utilizó 100 mg de zeolita para 1 Litro del Río Condebamba se obtuvo 51,7% de remoción de metales, al utilizarse 50mg de zeolita para 1 Litro del Río Condebamba se obtuvo 20% de remoción de metales y cuando se utilizó 20 mg de zeolita para 1 Litro del Río Condebamba se obtuvo 9% de remoción de metales, es decir al utilizar 100mg de zeolita con una agitación de 3 horas, resultó tener una mejor remoción de metales (51,7% de remoción), se comparó los resultados de los metales después del tratamiento con zeolita (Ba,B,Cu,Cr,Fe,Pb,Zn) los cuales no cumplieron con los límites permitidos por el Estándar de calidad ambiental tipo 3 que menciona el D.S. N°004-2017-MINAM categoría 3 ya que los valores se encontraron sobre lo establecido, por lo tanto el proceso no fue eficiente.
- Se determinó la concentración de metales en el Río Condebamba antes del tratamiento con zeolita: para el aluminio resultó 10,375 mg/L, bario 2,821 mg/L , boro 5,906 mg/L , cobre 0,724 mg/L, cromo 0,968 mg/L, hierro 7,775 mg/L, magnesio 8,68 mg/L, plomo 0,136 mg/L , zinc 12,742 mg/L.
- Se determinó la concentración de metales en el Río Condebamba después del tratamiento con zeolita como captador de metales, donde la muestra del Río Condebamba presentó los siguientes resultados: 5,115 mg/L de aluminio, 1,3624 mg/L de bario , 2,555 mg/L de boro , 0,36021 mg/L de cobre, 0,4495 mg/L de cromo,

“Eficiencia de la Zeolita en la remoción de metales pesados en el Río Condebamba en relación a los estándares de calidad ambiental categoría 3, Cajamarca 2022”

3,1957 mg/L de hierro, 4,236 mg/L de magnesio, 0,0630mg/L de plomo , 6,4790 mg/L de zinc.

## REFERENCIAS

- Abdel Salam, O. E., Reiad, N. A., & ElShafei, M. M. (2011). *A study of the removal characteristics of heavy metals from wastewater by low-cost adsorbents*. Journal of Advanced Research, 2(4), 297–303. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2011.01.008>
- Aguilar, L. (2006). *Contaminación Ambiental*. <http://contaminacion-ambiente.blogspot.com>
- Al-Haj Ali, A., & El-Bishtawi, R. (1997b). *Removal of lead and nickel ions using zeolite tuff*. J. Chem.Tech. Biotech., 69(May), 27–34. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4660\(199705\)69](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4660(199705)69)
- Álvarez de los Santos, R. (2009). *Contaminación por metales pesados de la presa Francisco Zarco en el Estado de Durango*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- ANA (2012). Política y estrategia nacional de recursos hídricos. Perú.  
<http://www.ana.gob.pe/media/527865/política%20y%20estrategia%20naciona>
- Castaldi, P., Santona, L., Enzo, S., & Melis, P. (2008). *Sorption processes and XRD analysis of a natural zeolite exchanged with Pb<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup> and Zn<sup>2+</sup> cations*. Journal of Hazardous Materials, 156(1–3), 428–434. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.12.040>
- Cayin, V. (2006). *Use of clinoptilolite for copper and nickel removal from aqueous solutions*, (January). Thesis. MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY.
- Cruz, AM. (2012). “Contaminación por metales pesados de cuerpos de agua cercanos al río Nazas en la región de Nazas Durango”.  
<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/2716>



“Eficiencia de la Zeolita en la remoción de metales pesados en el Río Condebamba en relación a los estándares de calidad ambiental categoría 3, Cajamarca 2022”

GRUFIDES (2022). *Proyecto minero Shahuindo*. <https://grufides.org/content/proyecto-minero-shahuindo-0>

Izquierdo, J (2017), “Concentración de metales pesados en el agua de la cuenca del Río Jequetepeque, en relación a los estándares de calidad del agua, categoría 3”, Cajamarca.

Ley De Recursos Hídricos. *Nº 29338. Atr.3, Art.99*. Lima, Perú. 31 Mzo. 2009.

Revista andina. (2022). *Minería informal pone en riesgo valle Cajamaquino de Condebamba*. <https://andina.pe/agencia/noticia-mineriainformal-pone-riesgo-valle-cajamarquino-condebamba-411660.aspx>

SIAR (2015). *Valle de Condebamba preocupados por industrias extractivas en la zona*. <https://siar.regioncajamarca.gob.pe/novedades/valle-condebamba-preocupado-industrias-extractivas-zona>

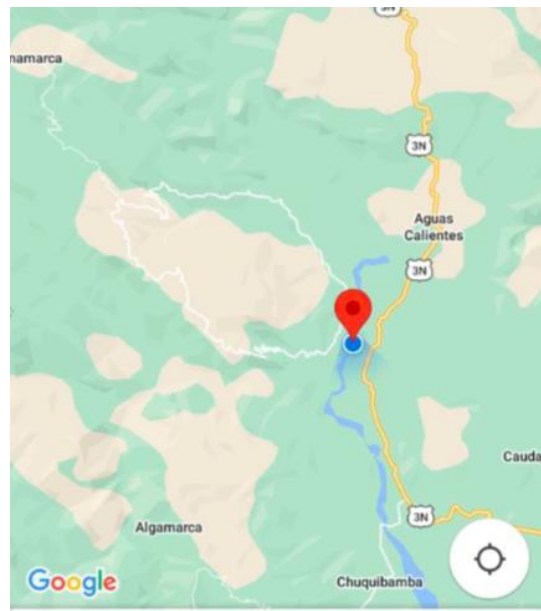
Spain Documentos. *Norma técnica peruana NTP214*. <https://fddocuments.es/document/ntp-214-042-calidad-de-agua.html?page=6>

## ANEXOS

### Anexo A Fotografía del lugar de muestreo



### Anexo B Fotografía de las coordenadas del lugar de muestreo



7°31'09.8"S 78°09'19.8"W

### Anexo C Cadena de custodia

CADENA DE CUSTODIA PARA MONITOREO DE AGUA

DATOS DEL CLIENTE				FACTURAR A:				CANTIDAD DE ENVASES (Plástico / Vidrio)		TIPOS DE AGUA*			
Cliente: Lidia Gabriela de la Puente Catalan / Kelly Enita Tello Vasquez				Razón Social:				Metales totales		AGUA NATURAL			
Contacto:				RUC:						ASUB : Agua subterránea AP : Agua de piscina			
Teléfono 910097641/916451063				Dirección:						AMA : Agua de manantial ALA : Agua de laguna artificial			
E-mail:				Contacto:						AGUA SALINA			
Proyecto: TESIS				Teléfono:						AT : Agua termal AM : Agua de mar			
Lugar de Inspección: RIO DE CONDEBAMBA				Muestreado por: <input type="checkbox"/>						AS : Agua superficial ABL : Agua salobre			
ENVIAR EL INFORME A:				El Cliente <input checked="" type="checkbox"/>						ADR : Agua de río BAL : Salmuera			
Contacto : Lidia Gabriela de la Puente Catalan				Frecuencia del Muestreo: <input type="checkbox"/>						ADL : Agua de lago / laguna AIRB : Agua de inyección y reinyección (salina)			
Dirección :				Periódico <input type="checkbox"/>						ADA : Agua de deposición atmosférica			
Teléfono : 910097641				No Periódico <input type="checkbox"/>						AGUA DE PROCESO			
E-mail : gops.deiaquatico@gmail.com				Especial <input checked="" type="checkbox"/>				AGUA RESIDUAL ACE : Agua de circulación o enfriamiento					
N° de OI :				N° de Pre-Acta :				ARD : Agua residual doméstica AAC : Agua de alimentación para calderas					
Fecha de Inicio:				Fecha de finalización: 17-05-2019				ARI : Aguas residual industrial AC : Agua de calderas					
Hora de Inicio:				Hora de finalización: 14:00				ARM : Agua residual municipal AL : Agua de lavación					
Item	Estación	Coordenadas UTM		Altitud (mnm)	Tipo de Agua*	Tipo de Muestra		Fecha	Hora	P	V	OBSERVACIONES	
		WGS 84	PSAD 56			Simple	Compuesta						
1	Rio Condebamba	7°31'09.08"S	78°09'19.8"W	-	AS	X		1/10/2022	10:45	X	X		
2	Tratamiento	-	-	-	AGUA TRATADA*	X		1/10/2022	14:00	X	X		
Inspector responsable:				Fecha:				Firma:		N° de Coolers <input type="checkbox"/>		Hora: <input type="checkbox"/>	
Representante del Cliente:				Fecha:				Firma:		N° de Ice Pack's <input type="checkbox"/>		Firma	
Muestra enviada vía:				Responsable del Envío:				Fecha y Hora del envío:					
Terrestre <input checked="" type="checkbox"/>				Aérea <input type="checkbox"/>				Fluvial <input type="checkbox"/>		Marítima <input type="checkbox"/>			
				Agencia / Persona a cargo del transporte:				RUC / DNI:					

### **Anexo D Codificación de envases**



### **Anexo E Ubicación en un punto medio del Río Condebamba**



### **Anexo F Proceso de enjuague de envases**



### **Anexo G Fotografía de la toma de muestras**



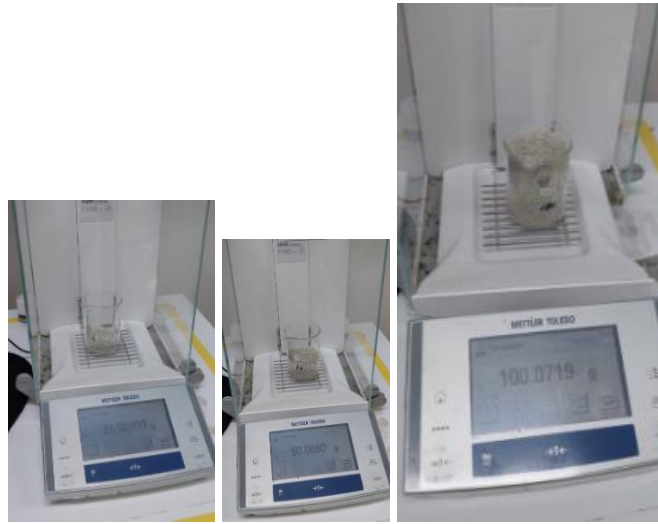
### **Anexo H Término del muestreo del agua en el Río condebamba**



### **Anexo I Fotografía de tesista mostrando la material de análisis**



### Anexo J Pesado de 25,50 y 100mg de zeolita



### Anexo K Tesistas en la zona de pesado



### Anexo L Material de análisis



### Anexo M Aforado de material volumétrico



### Anexo N Trasvase para centrifugado



“Eficiencia de la Zeolita en la remoción de metales pesados en el Río Condebamba en relación a los estándares de calidad ambiental categoría 3, Cajamarca 2022”

### Anexo O Agitación de muestra del Río Condebamba con 25,50 y 100mg de zeolita



### Anexo P Centrifugado de muestras





### **Anexo Q Muestras centrifugadas**



### **Anexo R Muestras listas para ser analizadas en el Laboratorio regional del agua**



“Eficiencia de la Zeolita en la remoción de metales pesados en el Río Condebamba en relación a los estándares de calidad ambiental categoría 3, Cajamarca 2022”

## Anexo S Ficha técnica de la zeolita



**ZEOLITA**  
FICHA TÉCNICA

Medio filtrante de zeolita de 4ta generación.

Se aplica en tratamiento de agua para consumo humano, uso recreativo, protección a sistemas de osmosis inversa.

### BENEFICIOS:

- Ahorro de agua en retrolavados
- Ahorro de espacio, filtros mas pequeños.
- Material prelavado, menos horas de puesta en marcha.
- Ahorro económico.
- Alta resistencia mecánica y bajo contenido de arcillas, no se desintegra.
- Reduce hasta en un 70% la turbidez y el SDI.
- Filtra partículas de hasta 1 micra.

CARACTERÍSTICA	ESTANDAR	ZEOLITA 12-20	ZEOLITA 14-40
Peso Volumétrico (Kg/m <sup>3</sup> )	ASTM D7263-00	690-780	690-730
Mailla	ASTM D1921-18	8-20	14-40
Coefficiente de uniformidad	ASTM D1921-18	1,48	1,27
Material debajo de mailla	ASTM D1921-18	2%	2%
Material disgregable	Método Zeomex	3,50%	3,50%
Firmeza	Texturómetro TVT	79	77,4
Superficie (m <sup>2</sup> /g)	Método BET	35-40	35-40
Clinoptilolita	Difracción rayos X	75%-83%	75%-83%
Arcilla	Difracción rayos X	3%	3%

PARAMETRO	ZEOLITA 12-20	ZEOLITA 14-40
Velocidad de flujo de servicio (gpm/pie <sup>2</sup> )	8-20	8-12
Velocidad de flujo de retrolavado (gpm/pie <sup>2</sup> )	15-20	15-20
Expansión	50%	50%
Altura del lecho	30"-48"	30"-48"



OREGON CHEM GROUP S.A.C RUC: 20604530383  
JR. PEDRO ALCOCER 150 - INT. 2 - SURQUILLO - LIMA

“Eficiencia de la Zeolita en la remoción de metales pesados en el Río Condebamba en relación a los estándares de calidad ambiental categoría 3, Cajamarca 2022”

**Anexo T Informe del Laboratorio regional del agua**

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA		GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA		INACAL	
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084		Registro N° LC- 034			
INFORME DE ENSAYO N° IE 0922608					
ENSAYOS		QUÍMICOS			
Código de la Muestra	Punto N° 1	Punto N° 2			
Código Laboratorio	0922608-01	0922608-02			
Matriz	Residual	Residual			
Descripción	Superficial	Superficial			
Localización de la Muestra	Rio Condebamba	Trabando			
Parámetro	Unidad	LCM	Resultado de Metales Totales		
Plata (Ag)	mg/L	0.0190	<LCM	<LCM	
Aluminio (Al)	mg/L	0.0230	18.375	2.125	
Arsénico (As)	mg/L	0.0050	<LCM	0.011	
Boro (B)	mg/L	0.0060	5.906	<LCM	
Bario (Ba)	mg/L	0.0040	2.821	0.062	
Berilio (Be)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	
Bismuto (Bi)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	
Calcio (Ca)	mg/L	0.1240	0.6	0.99	
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	
Cromo (Cr)	mg/L	0.0040	<LCM	0.007	
Cobalto (Co)	mg/L	0.0010	<LCM	<LCM	
Cromo (Cr)	mg/L	0.0030	0.968	<LCM	
Cobre (Cu)	mg/L	0.0180	0.734	<LCM	
Hierro (Fe)	mg/L	0.0230	7.775	1.779	
Níquel (Ni)	mg/L	0.0070	0.463	1.724	
Níquel (Ni)	mg/L	0.0050	<LCM	0.018	
Magnesio (Mg)	mg/L	0.0100	8.68	0.47	
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0030	<LCM	0.004	
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	
Sodio (Na)	mg/L	0.0280	1.2	13.9	
Níquel (Ni)	mg/L	0.0060	<LCM	<LCM	
Fósforo (P)	mg/L	0.0040	0.827	0.045	
Plomo (Pb)	mg/L	0.0040	0.136	<LCM	
Plomo (Pb)	mg/L	0.0010	14.8	2.57	
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0050	<LCM	<LCM	
Selenio (Se)	mg/L	0.0070	<LCM	<LCM	
Selenio (Se)	mg/L	0.1040	0.20	13.91	
Estadío (Sn)	mg/L	0.0070	<LCM	<LCM	
Stroncio (Sr)	mg/L	0.0030	<LCM	0.006	
Talio (Tl)	mg/L	0.0040	<LCM	0.127	
Talio (Tl)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	
Uranio (U)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	
Vanadio (V)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	
Zinc (Zn)	mg/L	0.0180	12.748	<LCM	
Plata (Ag)	mg/L	0.0010	0.43	20.12	
Mercuro (Hg)	mg/L	0.0010	<LCM	<LCM	

Cajamarca, 20 de noviembre de 2022

“Eficiencia de la Zeolita en la remoción de metales pesados en el Río Condebamba en relación a los estándares de calidad ambiental categoría 3, Cajamarca 2022”

**Anexo U Informe de laboratorio SGS del Perú S.A.C**



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO  
MA2244881 Rev. 0**

**GABRIELA DE LA PUENTE CATALÁN**

Jr. Miguel Iglesias #846

ENV / LB-351746-002

PROCEDENCIA : FISCAL

Fecha de Recepción SGS : 23-11-2022

Fecha de Ejecución : Del 23-11-2022 al 28-11-2022

Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Observación : PROYECTO DE TESIS: "EFICIENCIA DE LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS PRESENTES EN RIO CONDEBAMBA, UTILIZANDO ZEOLITA COMERCIAL COMO CAPTADOR, CAJAMARCA 2022"

Estación de Muestreo
ZEOLITA - 100 PPM
ZEOLITA - 50PPM
ZEOLITA - 25 PPM

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 30/11/2022

Jade C. Huarcaya Soto  
C.B.P. 8471  
Jefe de Oficina

“Eficiencia de la Zeolita en la remoción de metales pesados en el Río Condebamba en relación a los estándares de calidad ambiental categoría 3, Cajamarca 2022”

### Anexo V Informe de laboratorio SGS del Perú S.A.C

#### INFORME DE ENSAYO MA2244881 Rev. 0

IDENTIFICACION DE MUESTRA					ZEOLITA - 100 PPM 7809198N / 731098E 16/11/2022 10:30:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL	ZEOLITA - 50PPM 7809198N / 731098E 16/11/2022 10:30:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL
FECHA DE MUESTREO						
HORA DE MUESTREO						
CATEGORIA						
SUB CATEGORIA						
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
<b>Metales Totales</b>						
Aluminio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.001	0.003	6.115 ± 0.55	13.976 ± 1.26
Antimonio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0004	0.0013	<0.00013	<0.00013
Arsénico Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00003	0.00010	<0.00010	<0.00010
Bario Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0001	0.0003	1.3624 ± 0.12	2.1793 ± 0.20
Berilio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Bismuto Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003	<0.00003
Boro Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.002	0.006	2.555 ± 0.31	5.008 ± 0.60
Cadmio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003	<0.00003
Calcio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.003	0.009	<0.009	<0.009
Cerio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00008	0.00024	<0.00024	<0.00024
Cesio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003	<0.0003
Cobalto Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003	<0.00003
Cobre Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00003	0.00009	0.36021 ± 0.090	0.61337 ± 0.15
Cromo Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.4495 ± 0.11	0.8332 ± 0.21
Estaño Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00003	0.00010	<0.00010	<0.00010
Estroncio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Fósforo Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.015	0.047	<0.047	<0.047
Gallo Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00004	0.00012	<0.00012	<0.00012
Germanio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Hafnio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00005	0.00015	<0.00015	<0.00015
Hierro Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0004	0.0013	3.1957 ± 0.25	6.3281 ± 0.51
Lantano Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	<0.0015
Litio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003	<0.0003
Lutecio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Magnesio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.001	0.003	4.236 ± 0.51	7.187 ± 0.86
Manganeso Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00003	0.00010	<0.00010	<0.00010
Mercurio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00003	0.00009	<0.00009	<0.00009
Molibdeno Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Niobio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	<0.0015
Niquel Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Plata Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.000003	0.000010	<0.000010	<0.000010
Plomo Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.0630 ± 0.0057	0.1058 ± 0.0095
Potasio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.04	0.13	<0.13	<0.13
Rubidio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0003	0.0009	<0.0009	<0.0009
Selenio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0004	0.0013	<0.0013	<0.0013
Silice Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.09	0.27	<0.27 *	<0.27 *
Silicio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.04	0.13	<0.13	<0.13
Sodio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.006	0.019	<0.019	<0.019
Talio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Tantalio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0007	0.0021	<0.0021	<0.0021
Teluro Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.001	0.003	<0.003	<0.003
Thorio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00006	0.00019	<0.00019	<0.00019
Titanio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Uranio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.000003	0.000010	<0.000010	<0.000010
Vanadio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003	<0.0003
Wolframio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Yterbio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Zinc Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0008	0.0026	6.4790 ± 0.65	10.1497 ± 1.015
Zirconio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00015	0.00045	<0.00045	<0.00045

“Eficiencia de la Zeolita en la remoción de metales pesados en el Río Condebamba en relación a los estándares de calidad ambiental categoría 3, Cajamarca 2022”

### Anexo W Informe de laboratorio SGS del Perú S.A.C

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					ZEOLITA - 25 PPM 7809198N / 731098E 16/11/2022 10:30:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL	
FECHA DE MUESTREO						
HORA DE MUESTREO						
CATEGORIA						
SUB CATEGORIA						
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	
<b>Metales Totales</b>						
Aluminio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.001	0.003	17.393 ± 1.56	
Antimonio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00004	0.00013	<0.00013	
Arsénico Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00003	0.00010	<0.00010	
Bario Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0001	0.0003	2.4770 ± 0.22	
Berilio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	
Bismuto Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003	
Boro Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.002	0.006	5.303 ± 0.64	
Cadmio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003	

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					ZEOLITA - 25 PPM 7809198N / 731098E 16/11/2022 10:30:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL	
FECHA DE MUESTREO						
HORA DE MUESTREO						
CATEGORIA						
SUB CATEGORIA						
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	
<b>Metales Totales</b>						
Calcio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.003	0.009	<0.009	
Cerio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00008	0.00024	<0.00024	
Cesio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003	
Cobalto Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003	
Cobre Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00003	0.00009	0.68689 ± 0.17	
Cromo Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.8988 ± 0.22	
Estaño Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00003	0.00010	<0.00010	
Estroncio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	
Fósforo Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.015	0.047	<0.047	
Galio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00004	0.00012	<0.00012	
Germanio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	
Hafnio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00005	0.00015	<0.00015	
Hierro Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0004	0.0013	7.6962 ± 0.61	
Lantano Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	
Litio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003	
Lutecio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	
Magnesio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.001	0.003	7.903 ± 0.95	
Manganeso Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00003	0.00010	<0.00010	
Mercurio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00003	0.00009	<0.00009	
Molibdeno Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	
Niobio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	
Niquel Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	
Plata Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00003	0.00010	<0.00010	
Plomo Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.1214 ± 0.011	
Potasio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.04	0.13	<0.13	
Rubidio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0003	0.0009	<0.0009	
Selenio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0004	0.0013	<0.0013	
Silicio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.09	0.27	<0.27 *	
Silicio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.04	0.13	<0.13	
Sodio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.006	0.019	<0.019	
Talio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	
Tantalio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0007	0.0021	<0.0021	
Teluro Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.001	0.003	<0.003	
Thorio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00006	0.00019	<0.00019	
Titanio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	
Uranio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00003	0.00010	<0.00010	
Vanadio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003	
Wolframio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	
Yterbio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	
Zinc Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.0008	0.0026	11.8475 ± 1.18	
Zirconio Total	EW EPA200 8 CX	mg/L	0.00015	0.00045	<0.00045	